

データサイエンスの手法を用いた AGNのX線スペクトル変化の解析

Sean Pike¹、海老沢 研¹、森井 幹雄²、池田 思朗²、水本 岬希¹、楠 絵莉子¹

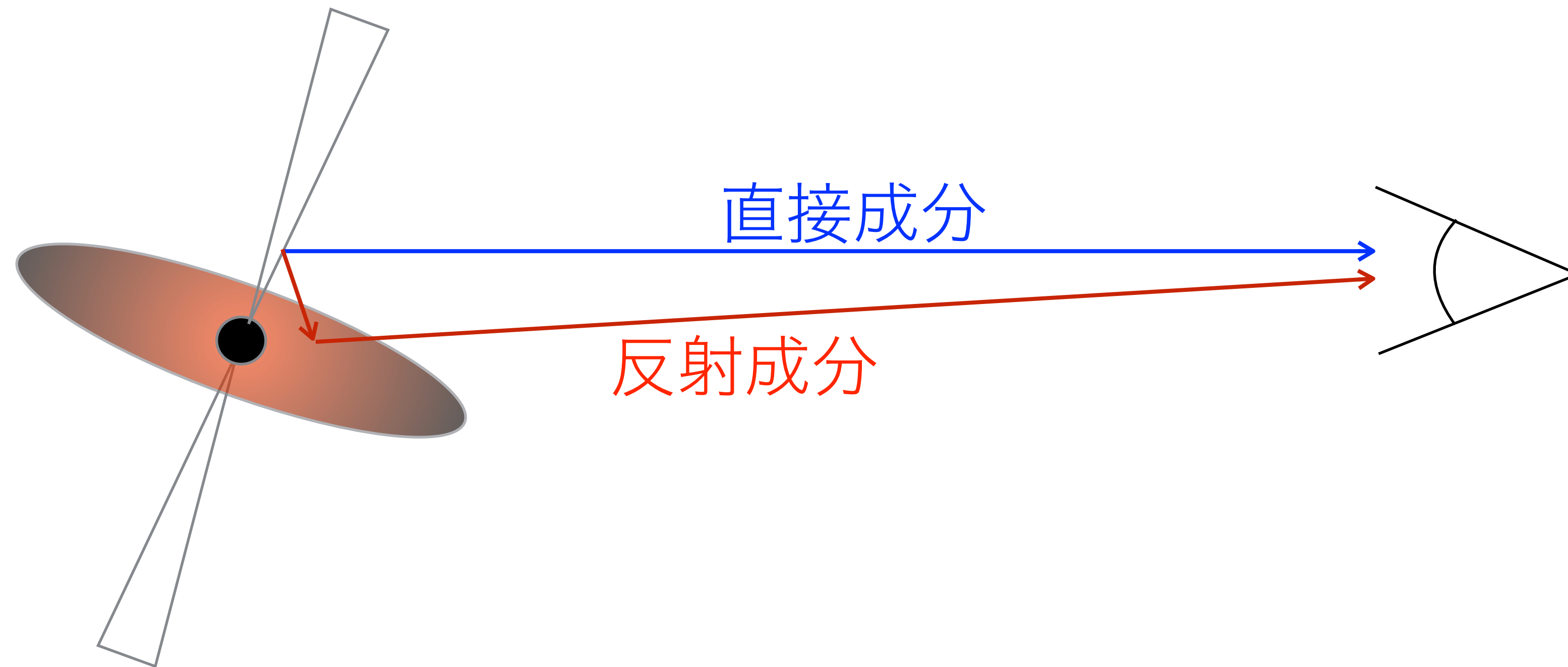
¹ 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所、相模原市

² 統計数理研究所 統計的機械学習研究センター、立川市

最近の問題

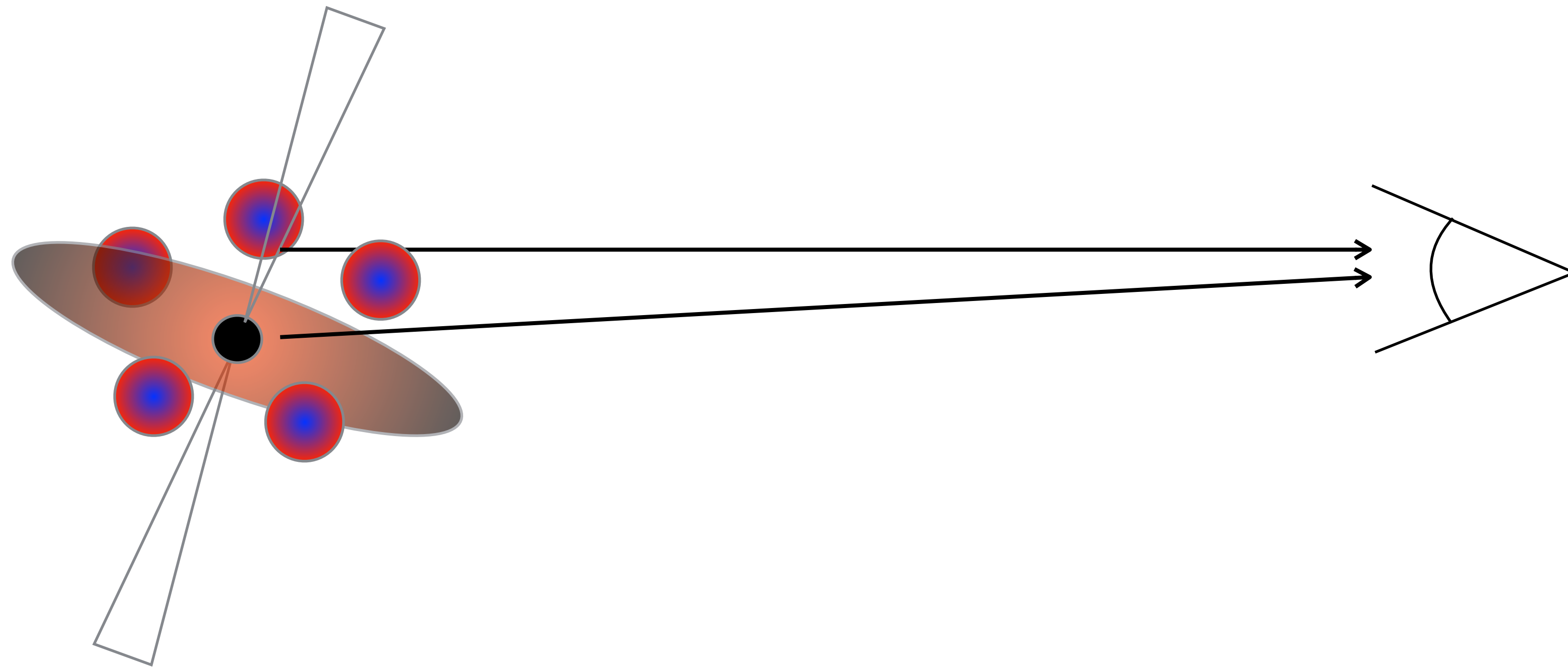
- AGNのスペクトル変化を説明する主なモデルが二つある：
- 「Disk-line」モデル (Fabian et al. 1995)
- 「Variable Double Partial Covering」 (VDPC) モデル (Mizumoto et al. 2014)

「disk-line」モデル



直接成分と反射成分の割合の変化が観測されたスペクトル変動を説明する。

「VDPC」 モデル



吸収体が中心からのX線を隠す割合の変化が観測スペクトルの変化を説明する。

本プロジェクトの目標

- 二つのモデルの有効性を比べる
- モデルを仮定せずにデータサイエンスの手法を適用して、スペクトル変化の特徴を抽出したい
- Nonnegative Matrix Factorization (NMF) (Lee, D., & Seung, H. 2000)
- Principal Component Analysis (PCA) (Ivezić, Ž. et al., 2014)

Principal Component Analysis (PCA)

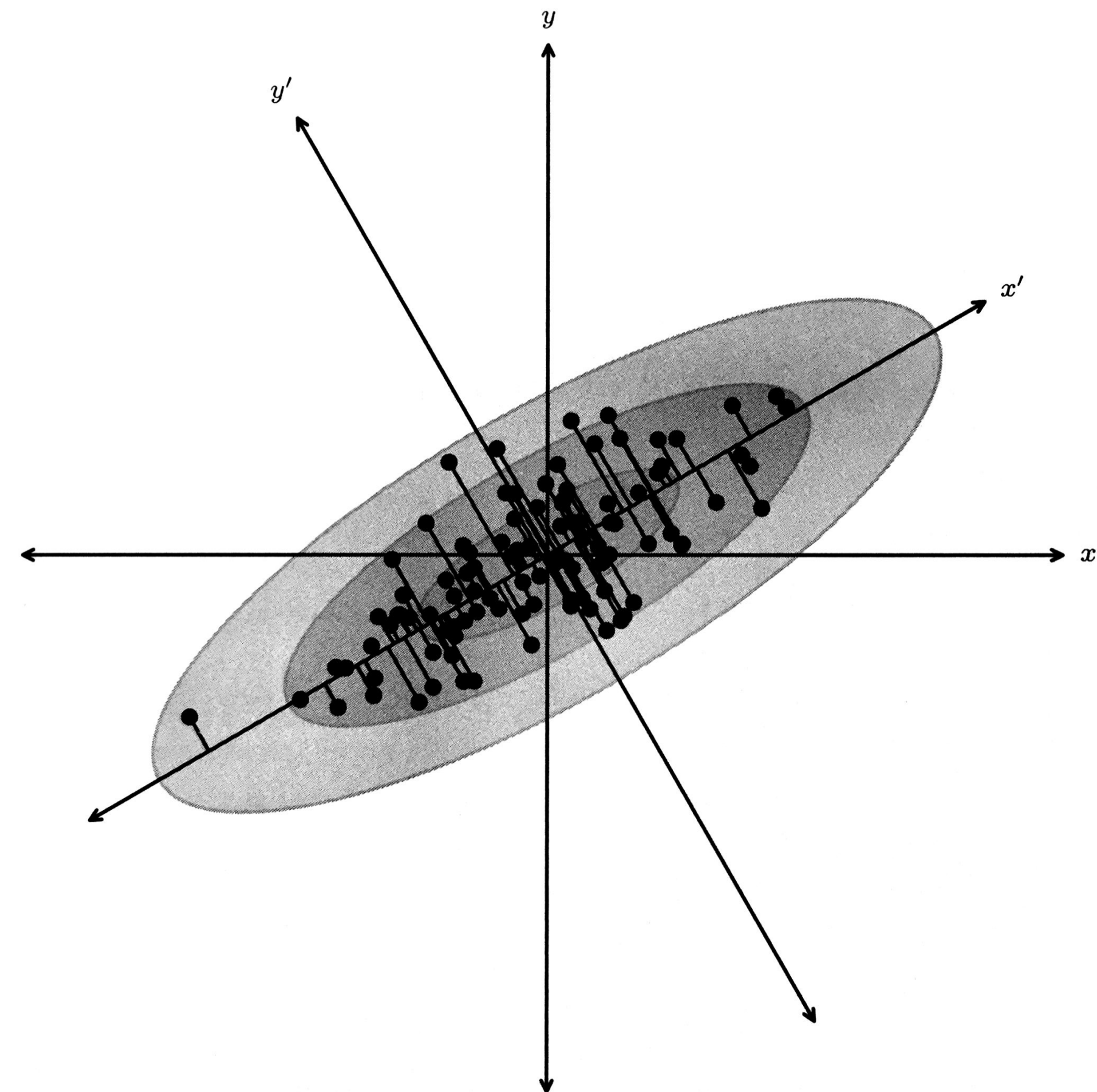
- 標準偏差を最大値にするために、座標軸を回す手法
- 負の値があるから、物理的に分かりにくい

$$\mathbf{T} = \mathbf{XW}$$

「**T**」 は回したデータ

「**X**」 は元データ

「**W**」 は回すマトリックス

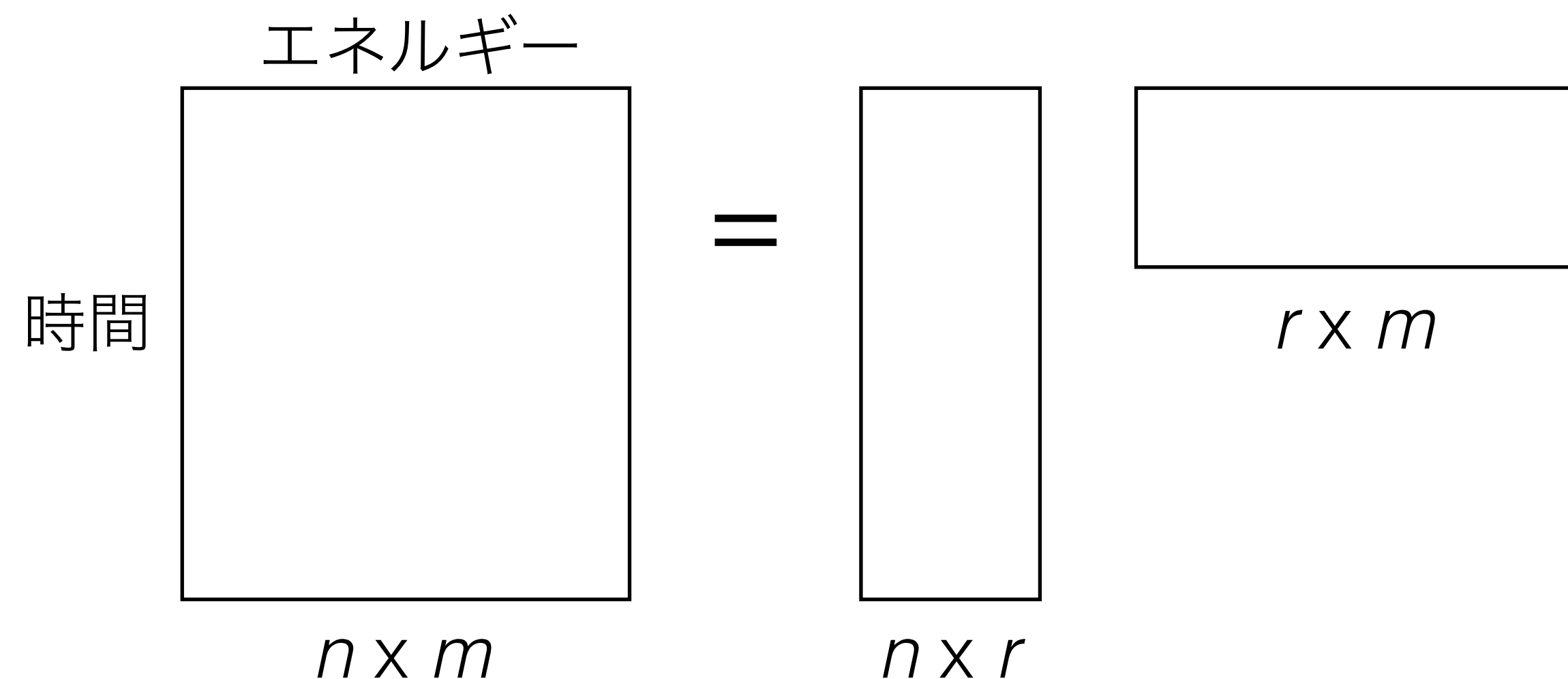


Ivezić, Ž et al. 2014

Nonnegative Matrix Factorization (NMF)

- スペクトルを正の成分に分ける手法
- 物理的な意味が分かりやすい

$$\mathbf{X} = \mathbf{W}\mathbf{S}$$



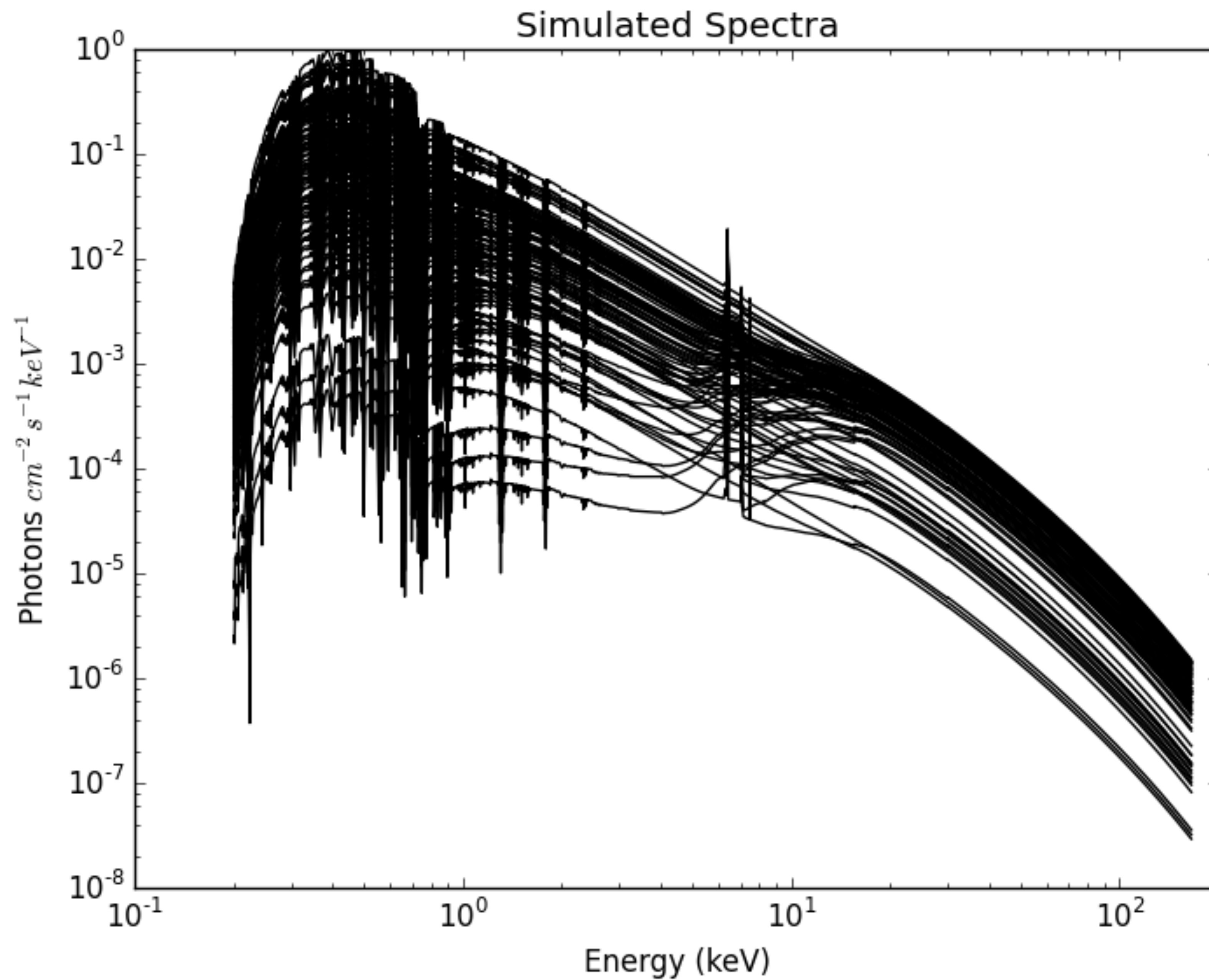
「**X**」 は元データ

「**S**」 はスペクトルの成分

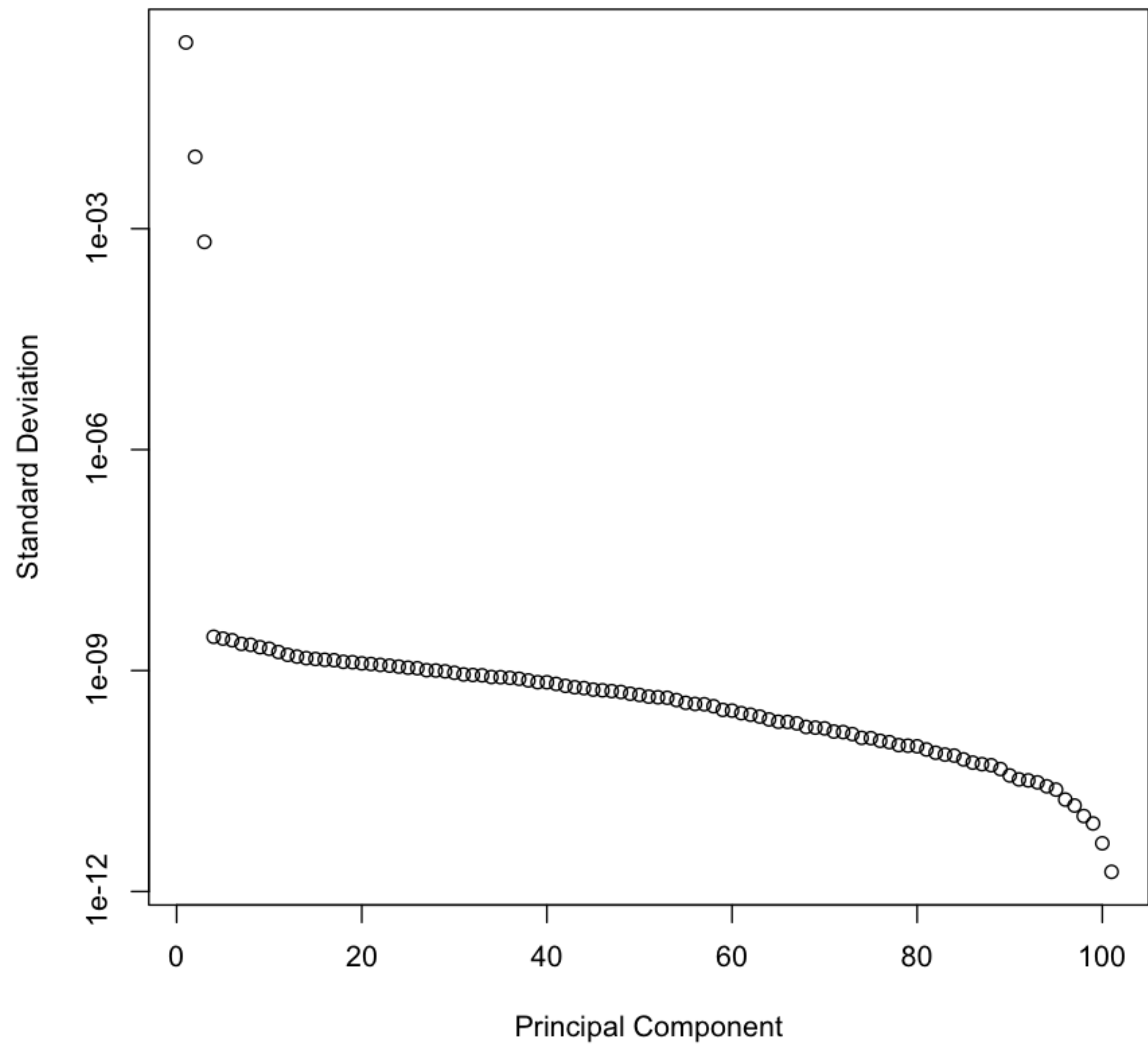
「**W**」 は各成分の時間変化

今までの結果

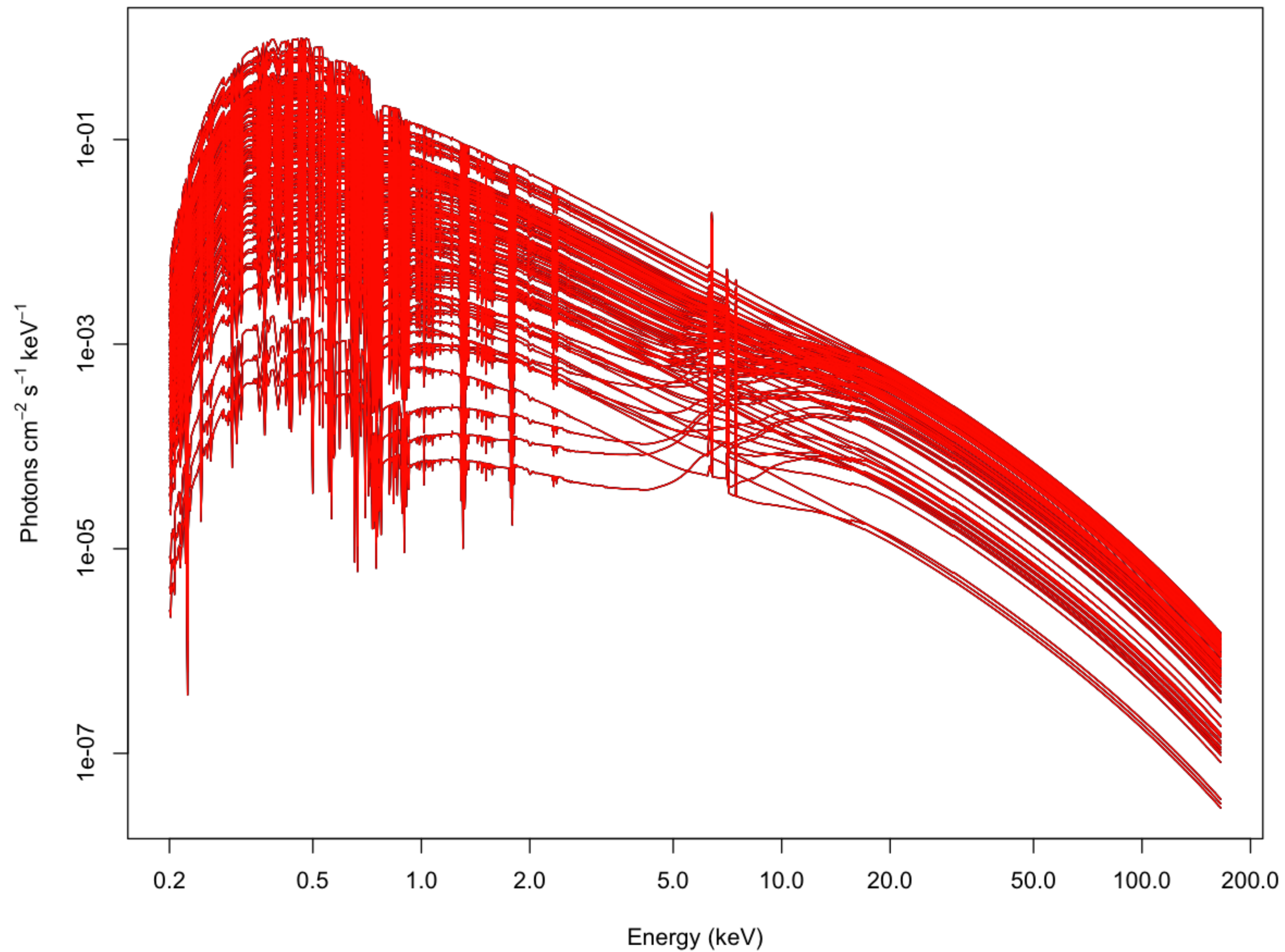
- 「VDPC」モデルから101のシミュレーションスペクトルを作成した
- 二つのパラメーターをランダムに変えた：
 - Partial Covering Fraction (AGNの中心からのX線の隠されている割合)
 - ノーマライゼーション
- シミュレーションスペクトルにPCAとNMFを適用した



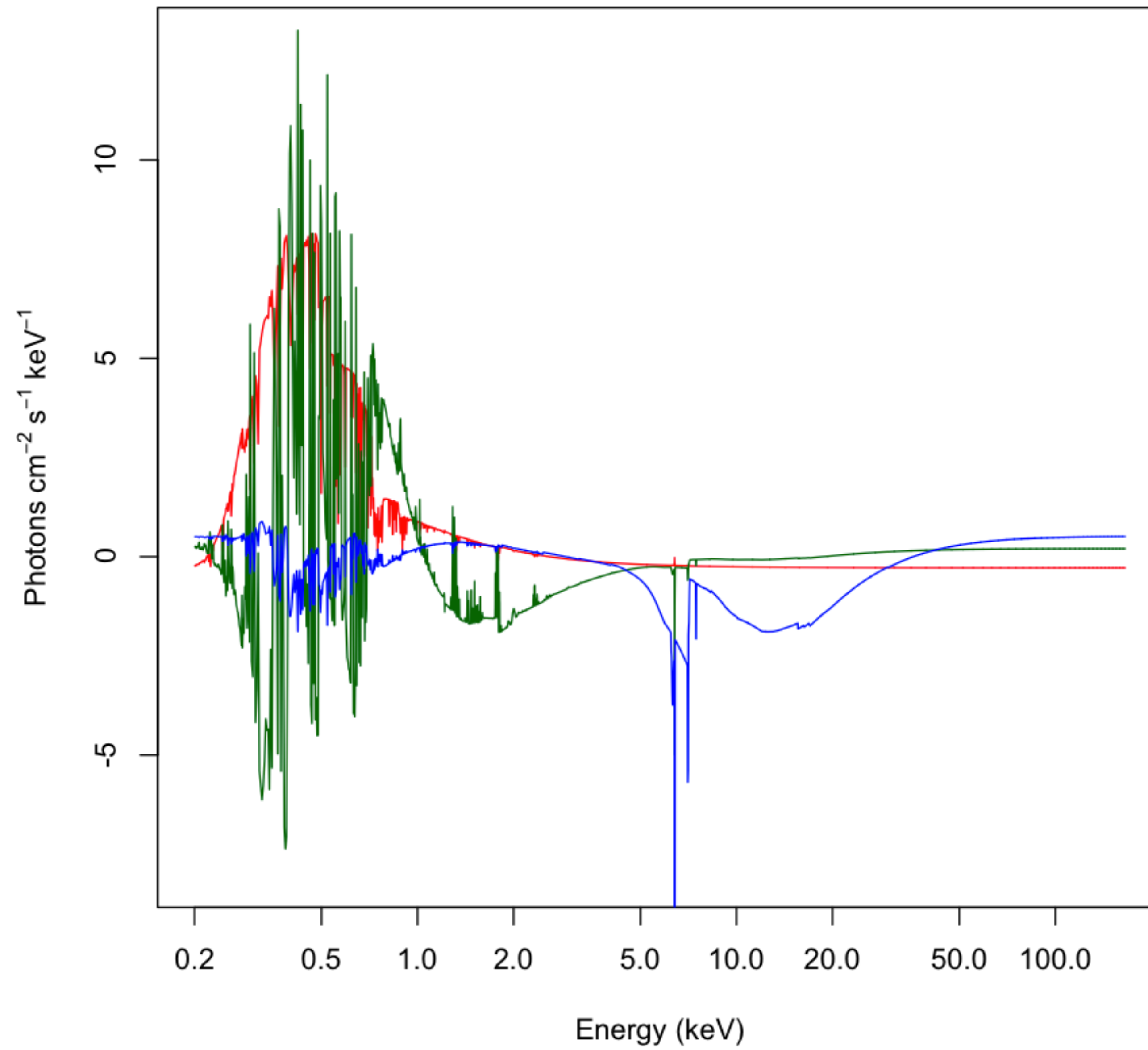
Standard Deviations w.r.t. Principal Component Axes



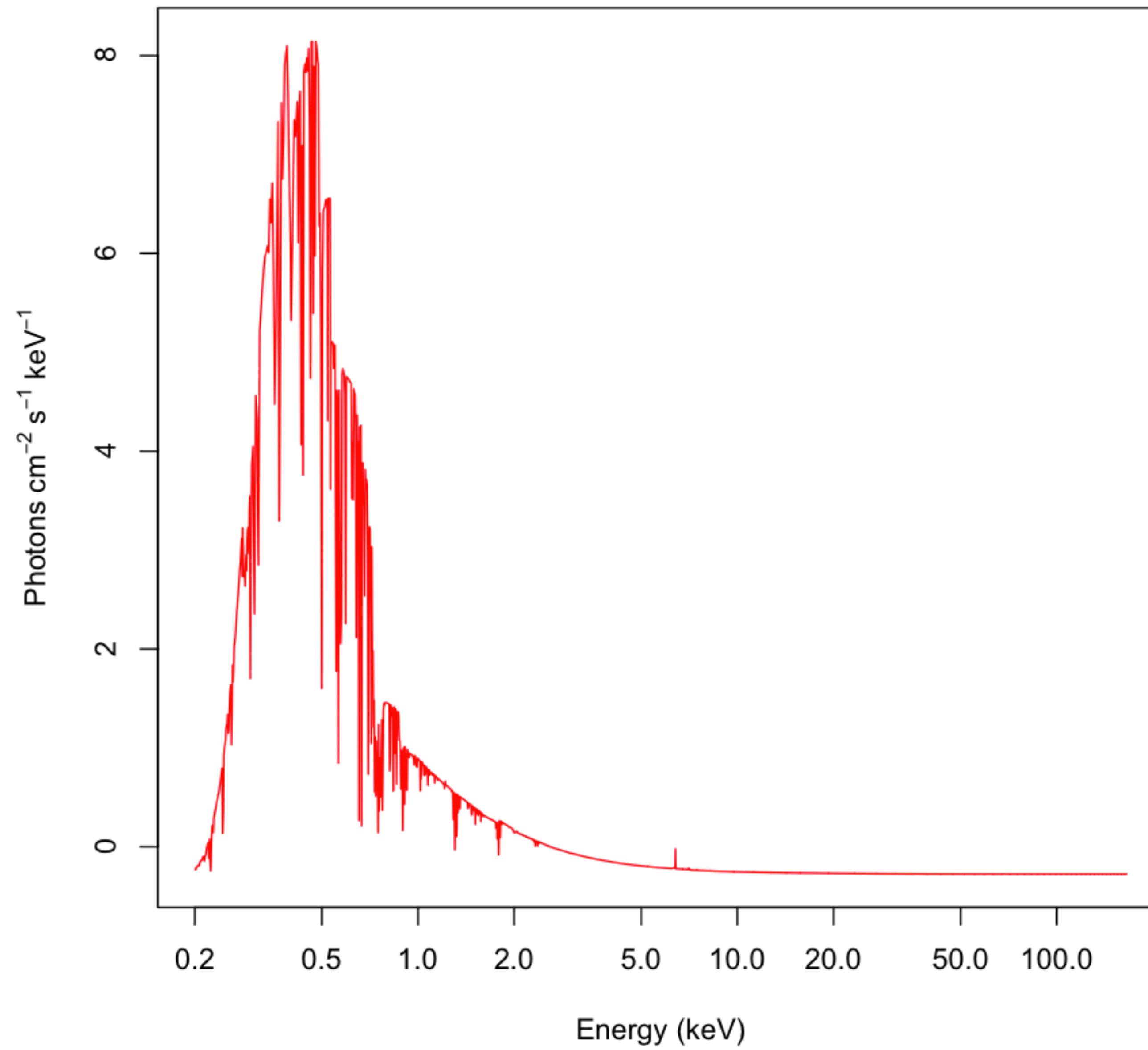
Simulated Spectra (black) and PCA Reproduction with Three Components (red)



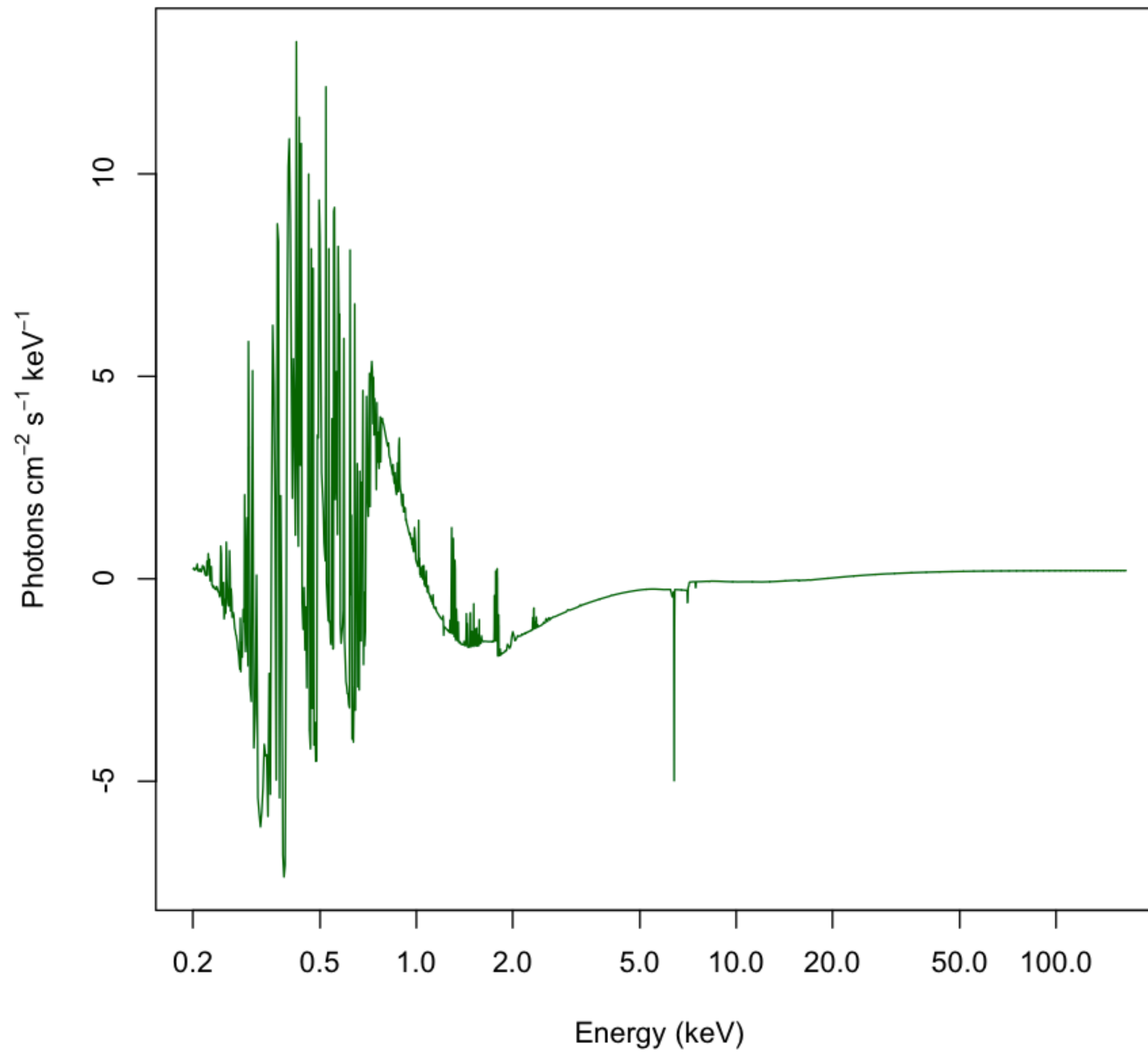
First Three Principal Components



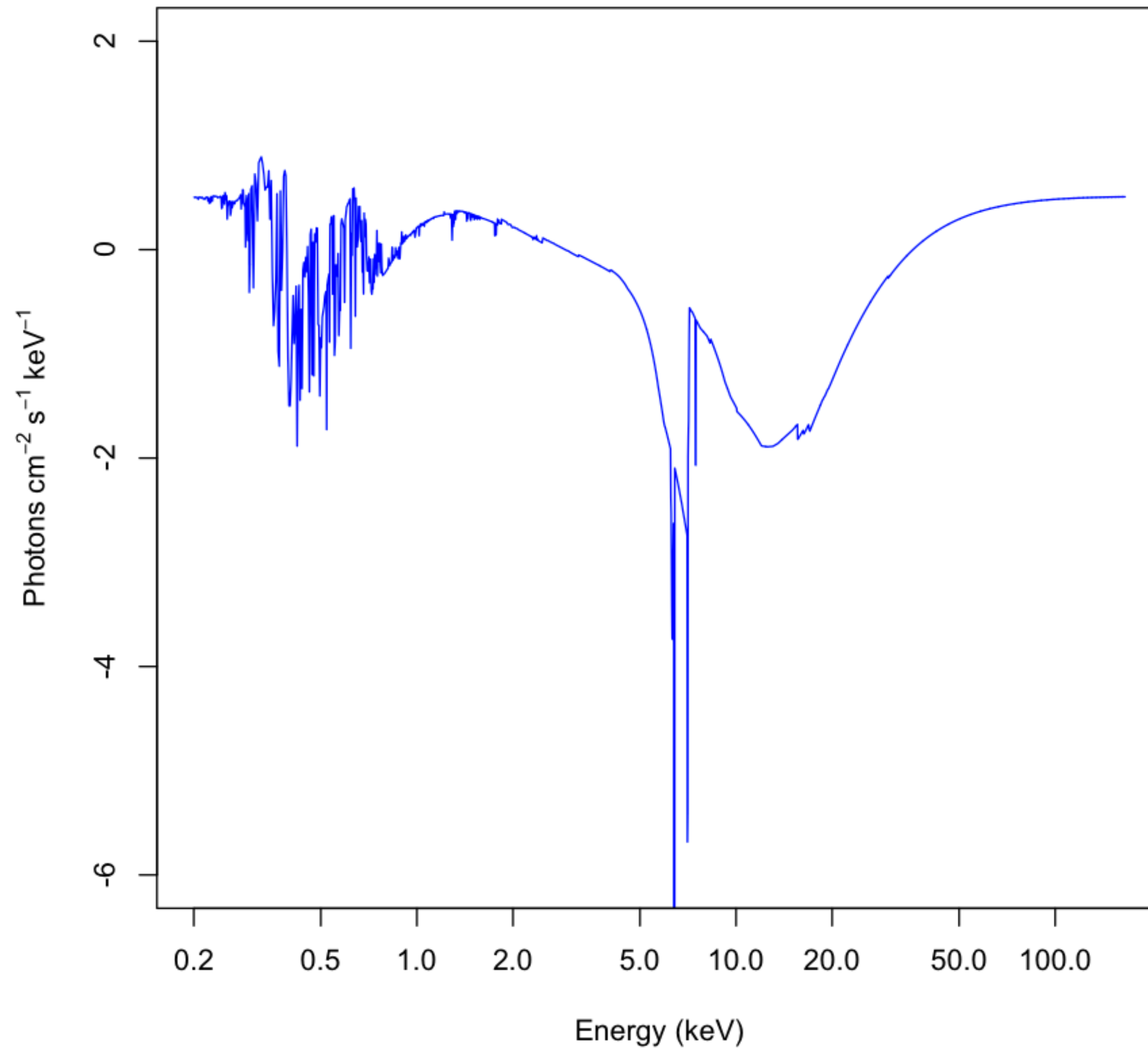
First Principal Component



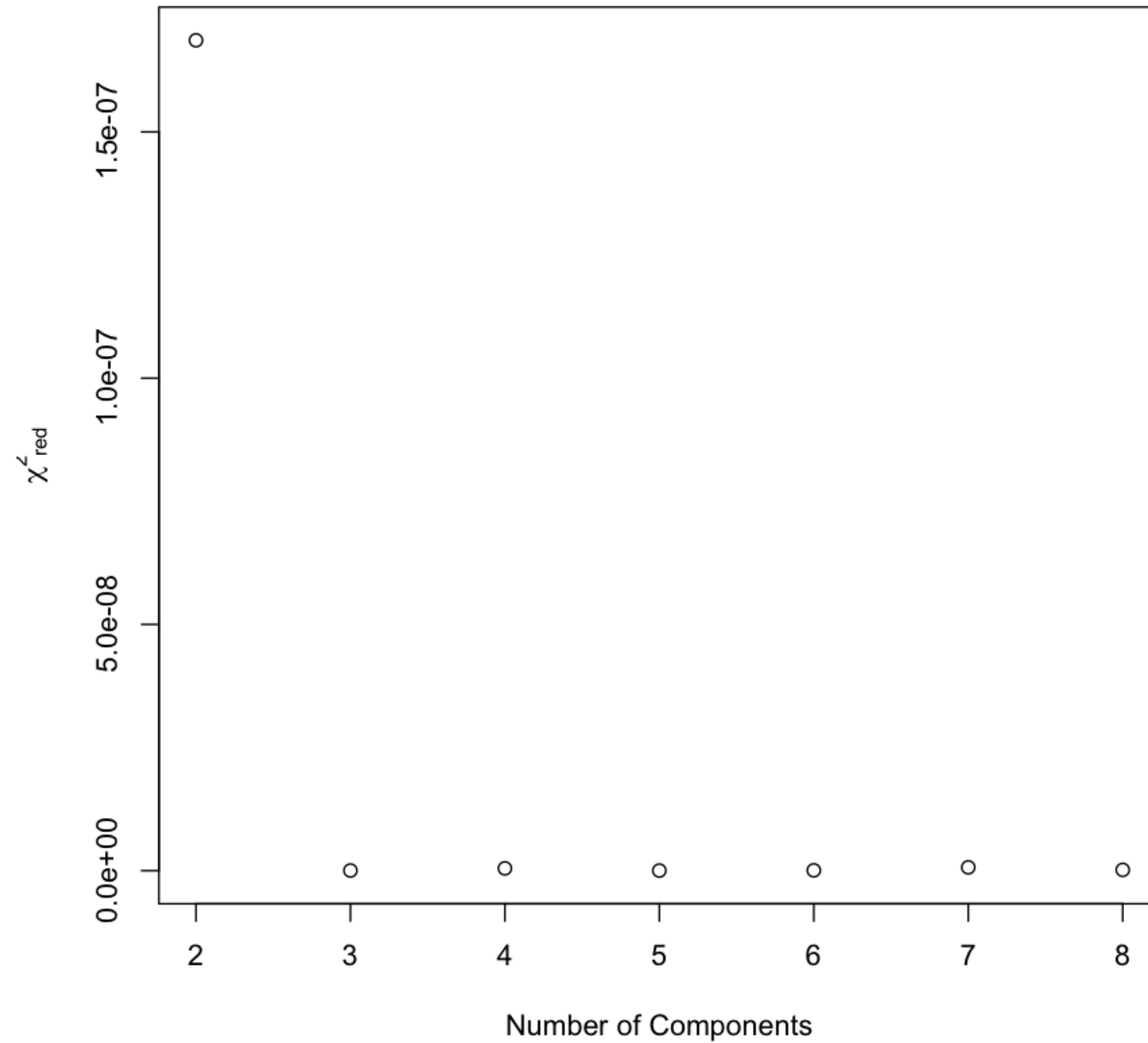
Second Principal Component

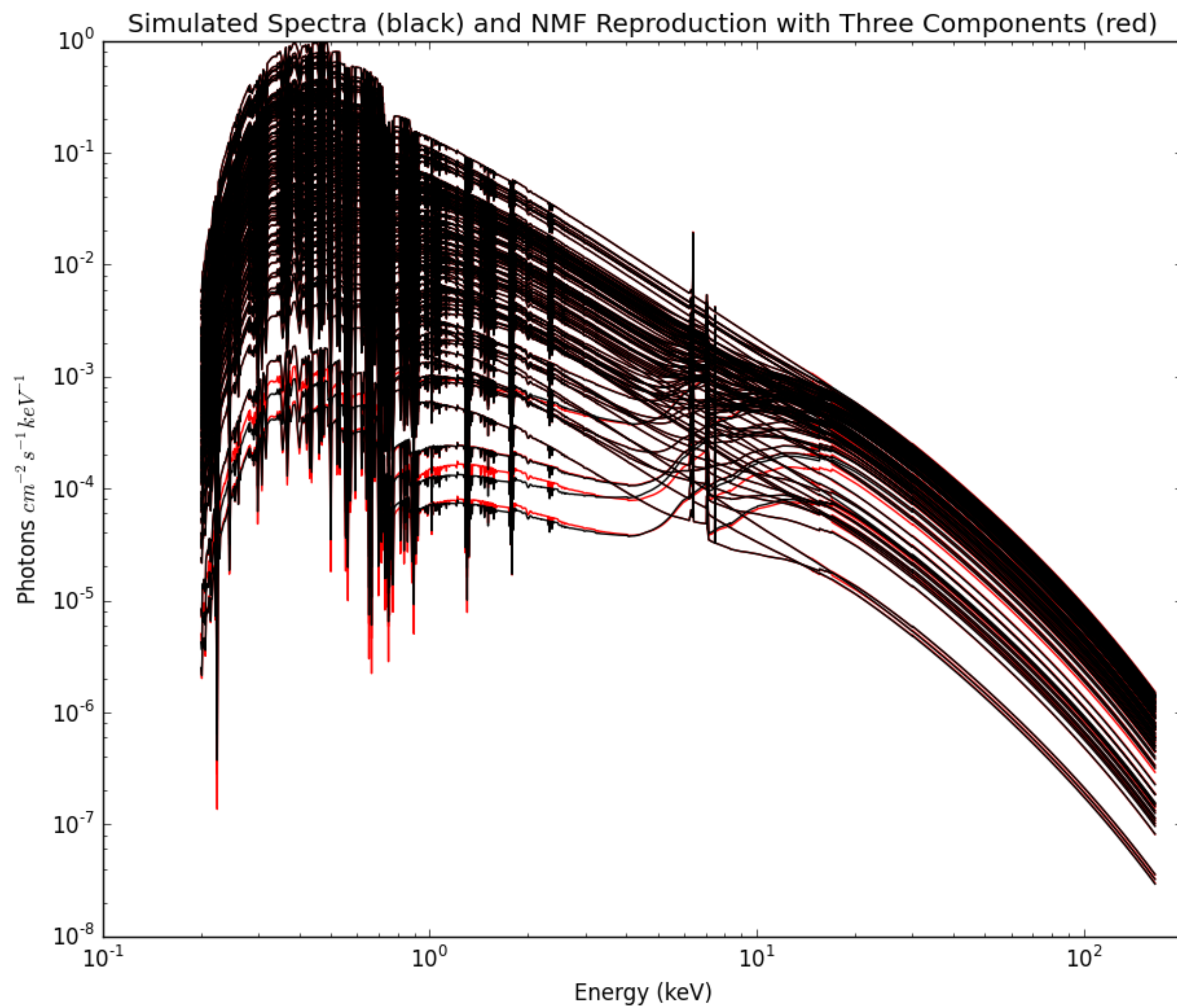


Third Principal Component

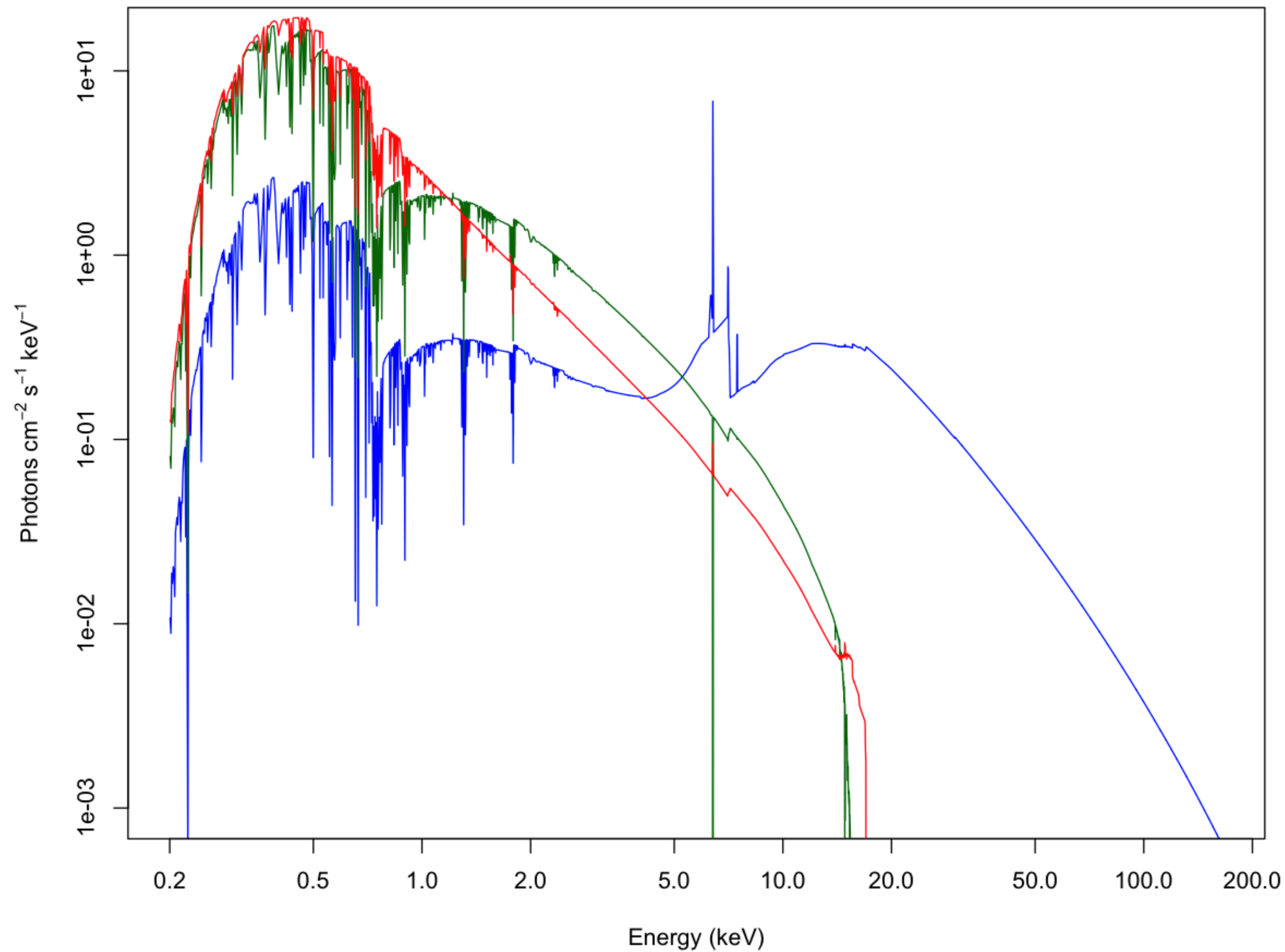


Goodness of NMF Reproduction

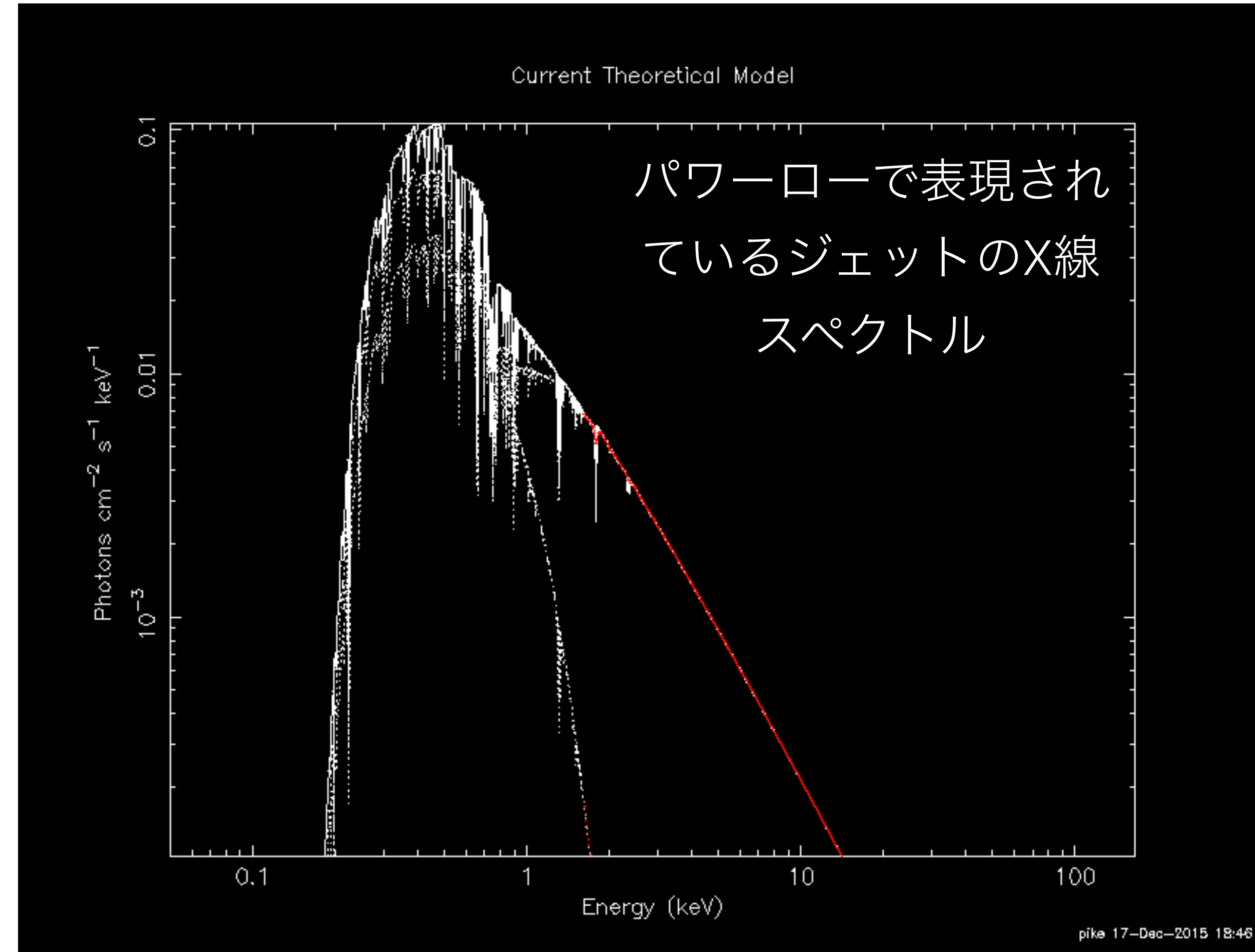
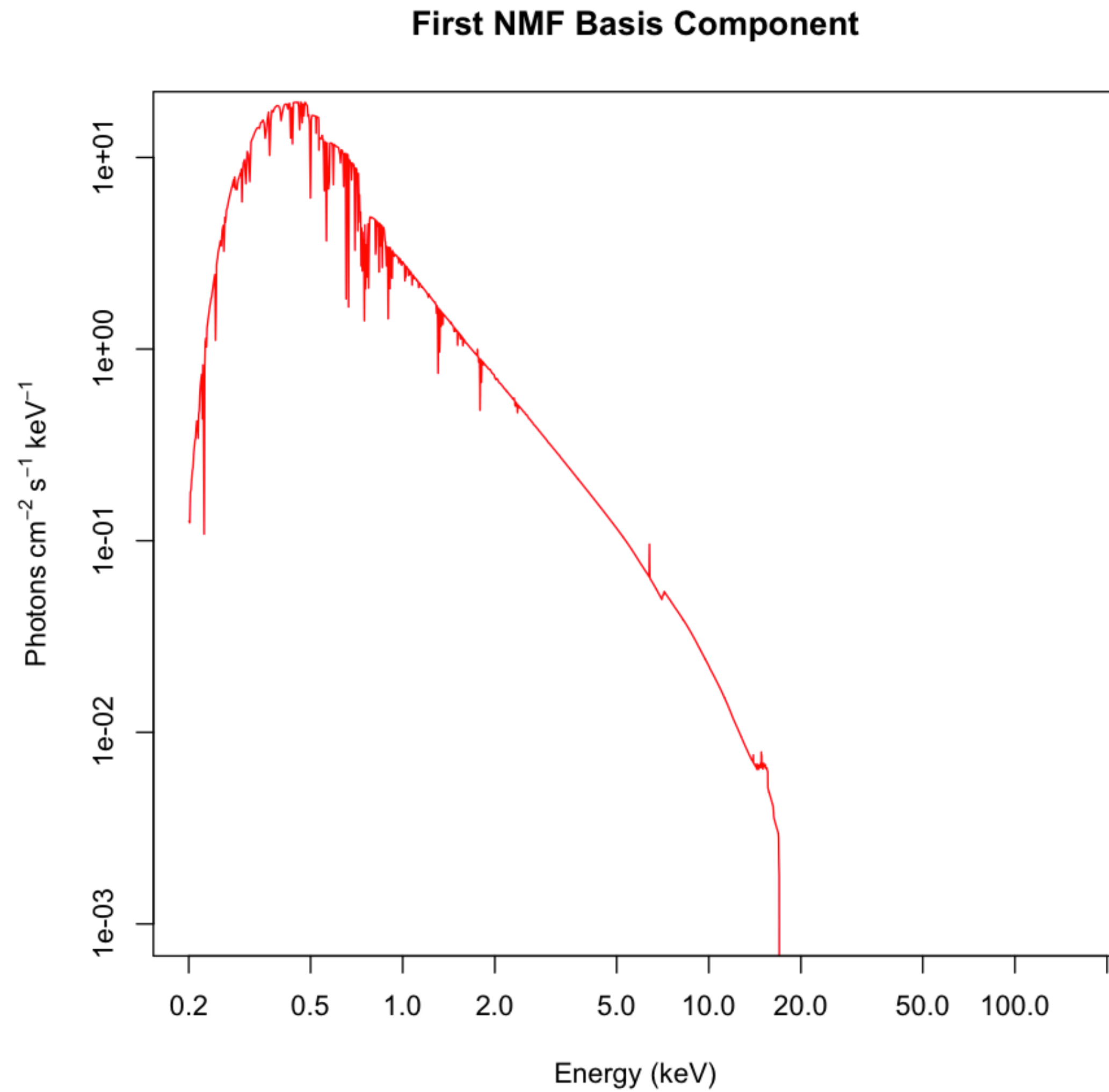




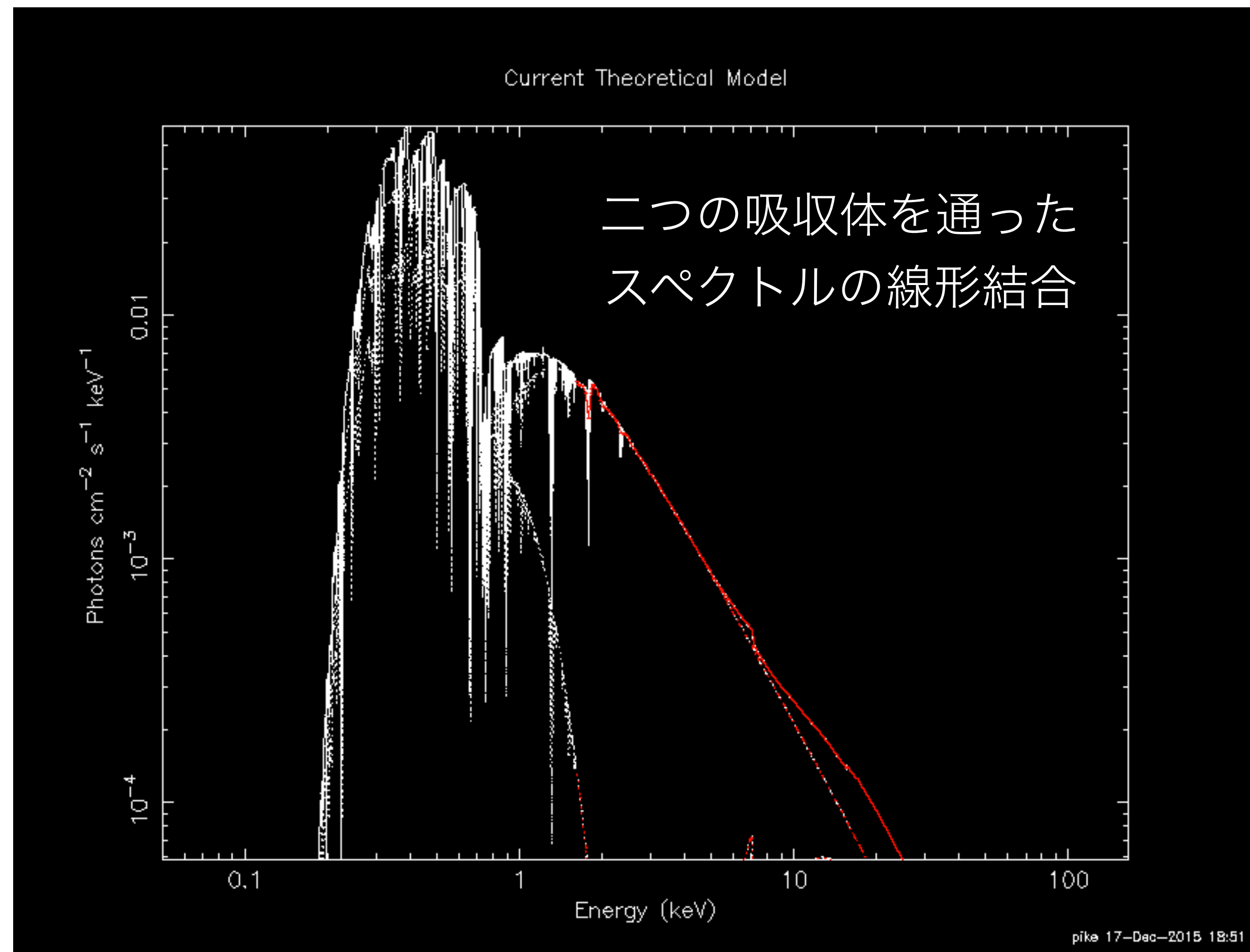
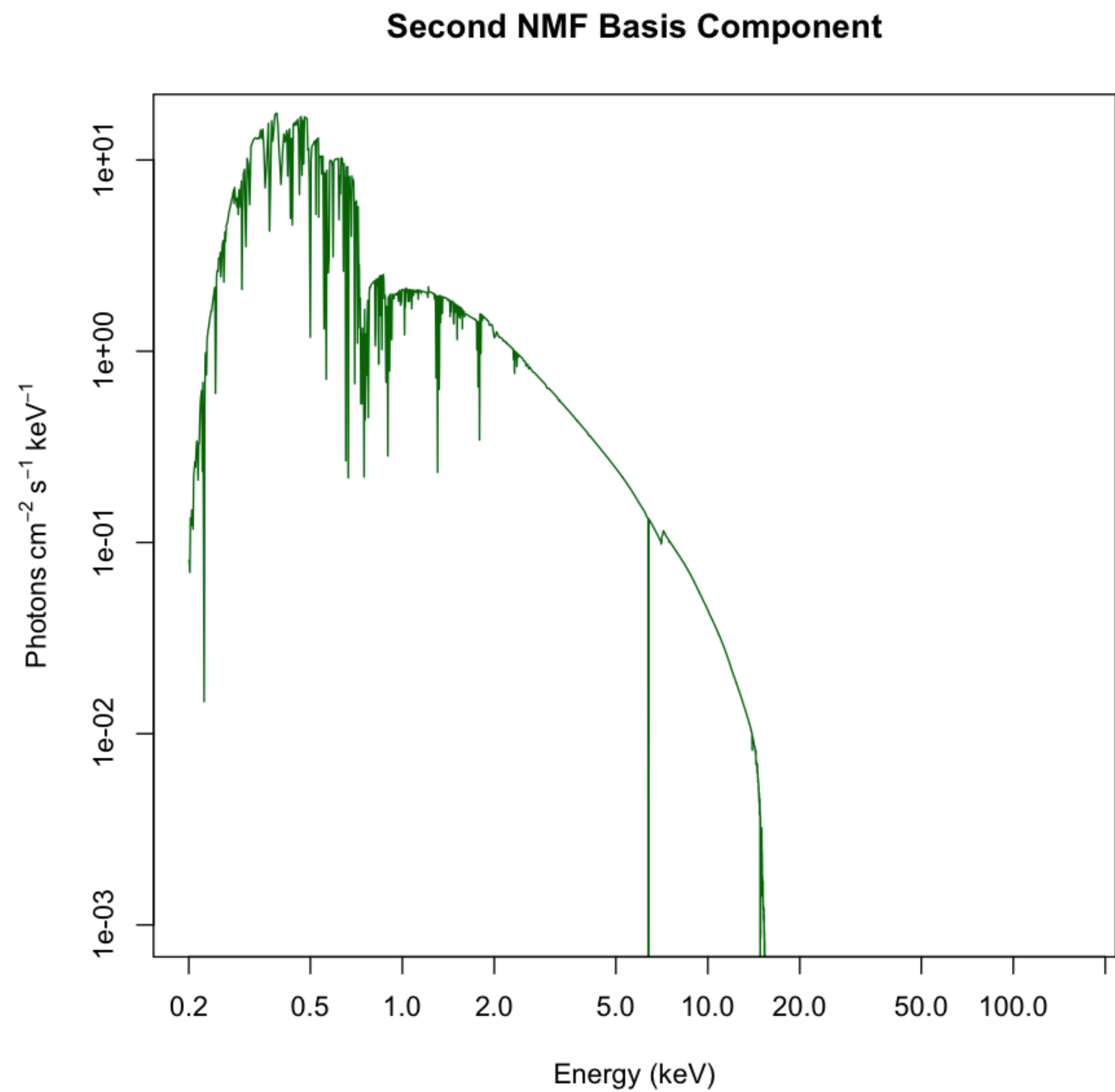
Three NMF Basis Components



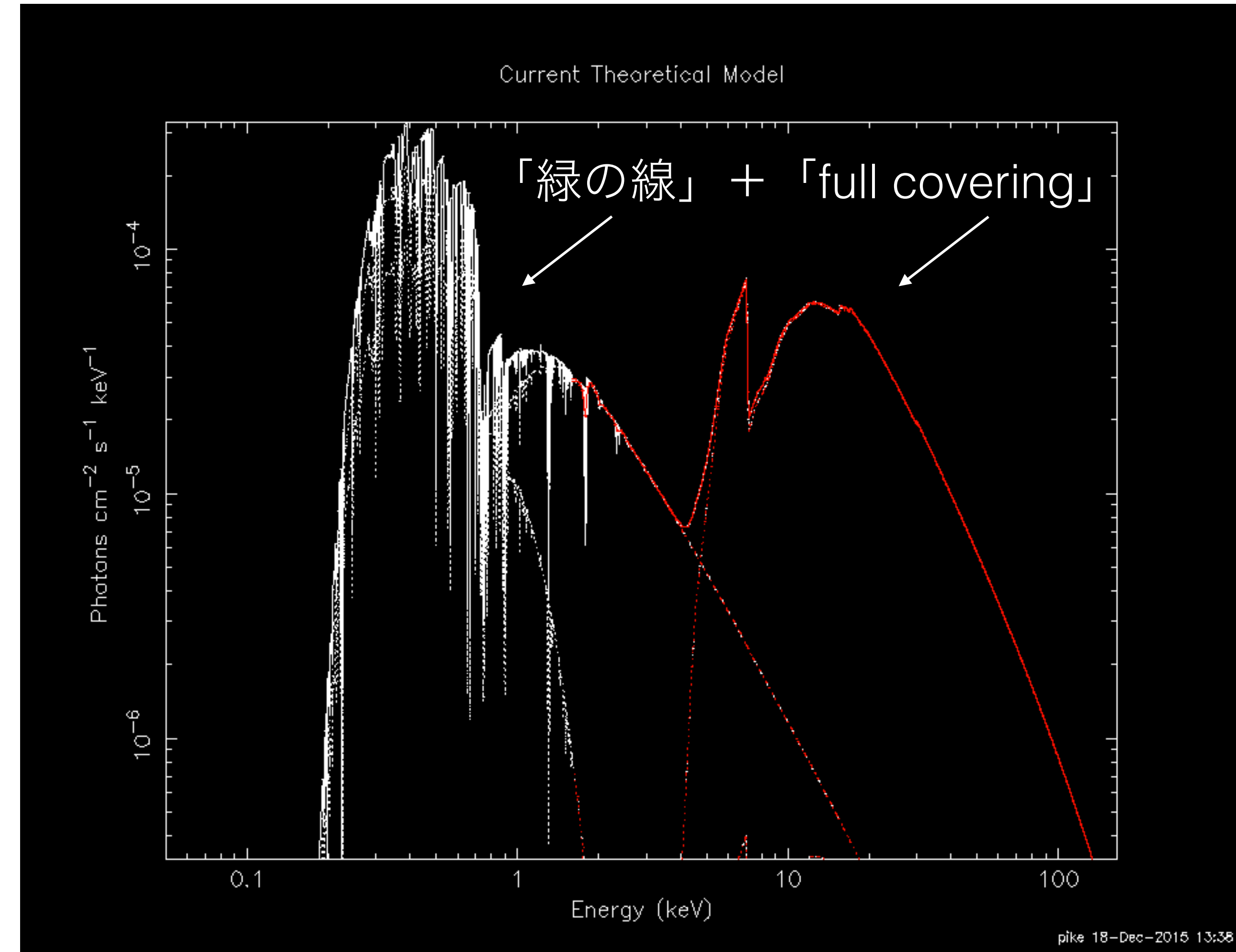
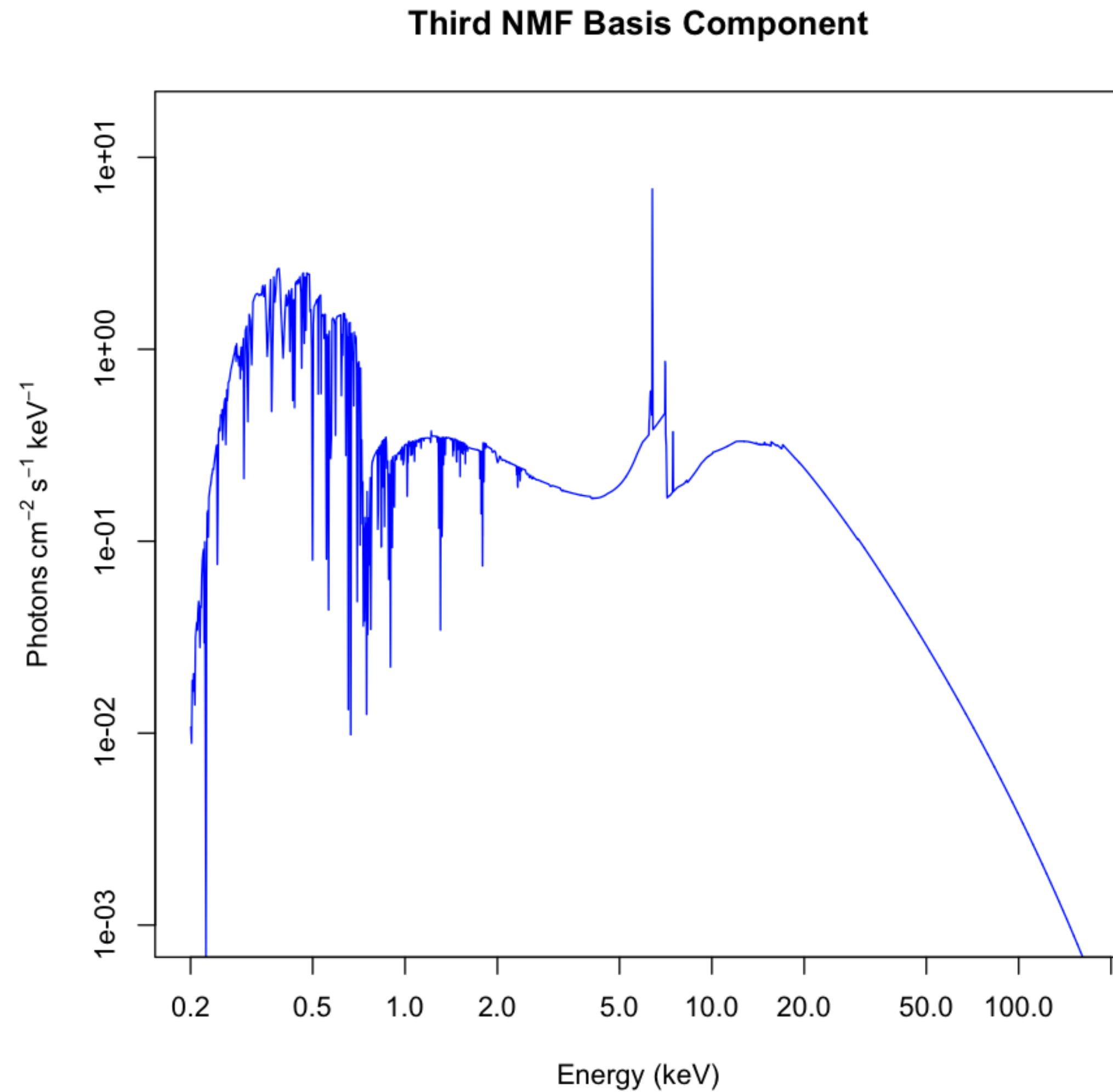
赤はパワーロー



緑は「hot absorber」と「cold absorber」の線形結合



青は「緑の線」と「full covering」の線形結合



NMFで分解されたスペクトル成分を物理的に解釈できる！

今後の課題

- 「disk-line」モデルからシミュレーションデータを作成し、データサイエンス手法を適用する
- 観測データにデータサイエンス手法を適用する
- モデルに依存せずにスペクトル変化の特徴を導き出す
- スペクトル変化の物理的原因を探る

参考文献

Degenaar, N., Koljonen, K.I.I., Chakrabarty, D., Kara, E., Altamirano, D., Miller, J.M., Fabian, A.C. 2016, MNRAS, 456, 4256

Fabian, A.C. Nandra, L., Reynolds, C.S., Brandt, W.N., Otani, C., Tanaka, Y., Inoue, H., & Iwasawa, K. 1995, MNRAS, 277, L11

Ivezić, Ž., Connolly, A.J., VanderPlas, J.T., Gray, A. 2014, Princeton University Press: Princeton

K. I. I. Koljonen, MNRAS, 2015, 447, 2985

Lee, D., & Seung, H. 2000, *Advances in Neural Information Processing Systems 13*

Mizumoto, M., Ebisawa, K., & Sameshima, H. 2014, PASJ, 66, 12